

# 移动自组网络中简单组播转发协议的扩展<sup>①</sup>

吴 岳

(国家林业局林产工业规划设计院, 北京 100010)

**摘 要:** 简单组播转发协议在没有接收者时, 组播源也会洪泛整个网络, 这样就会产生不必要的重复数据. 为了避免在移动自组网中出现这种问题, 作者针对简单组播转发协议提出了一种扩展方法, 即根据有限的洪泛范围和到达所有组播接收者的单播, 对组播源列表中的每个接收者计算一个混合值. 以这个混合值为标准选择有限的洪泛方式与单播方式的最佳组合来最小化洪泛带来的网络开销.

**关键词:** 简单组播转发协议; 有限洪泛; 移动自组网; 组播; 控制开销

## Extension of Simple Multicast Forwarding in MANET

WU Yue

(Planning and Design Institute of Forest Products Industry State Forestry Administration, Beijing 100010, China)

**Abstract:** Simple multicast forwarding protocol in the absence of the recipient, the multicast source will be flooded throughout the network, this will lead to unnecessary duplication of data. In order to avoid MANET this problem, the authors propose protocols for multicast forwarding simply an extended method, which based on limited flooding scope and reach all the multicast receivers unicast, multicast source list calculated for each recipient a mix value. With this mix is the standard way with limited options flooding the best combination of unicast to minimize network overhead caused by flooding.

**Key words:** SMF; limited flooding; MANET; multicast; control overhead

在互联网中, 组播技术可以向多个使用同一目的地址为标识的主机传送数据包. 使用多播技术的前提是网络中的所有主机需要从一个或多个源地址接收相同的数据包, 组播组中的成员可以动态地变化. 与单播相比, 组播可以同时给多个接收者发送相同的数据, 减小了链路带宽的消耗和传送的延迟, 降低了通讯成本.

移动自组网络(MANET)中只有自组织的无线移动节点, 这些节点共享一个相同的无线信道. MANET的运行不需要固定的基础设备或集中的管理. 如果两个节点在对方的传输范围内, 既可以使用单跳传输进行通信, 也可以使用以中间节点作为中继器的多跳传输进行通信. 由于发送功率是有限的, 所以节点之间经常会使用多跳传输作为通信方式, 网络中的每一个节点同时扮演主机和路由器两个角色.

与有线网络相比, MANET 的主要特点是: 快速的

部署、高度动态的网络拓扑(设备的移动、无线信道的改变、网络的分割与合并)、有限的网络容量、单向的通信链路. 这些特点为组播技术带来了一些问题. 其中关键的问题是当节点移动时, 发送者如何高效传递数据包到多个接收者. 一个高度动态的拓扑结构是对组播协议稳定性的最大挑战. 由于无线传输的噪声与干扰, MANET 的信道容量与有线网络相比较低. 组播协议中总是存在一个可靠性与控制开销之间的折中点, 选择一个合适的折中点会影响组播协议的性能.

## 1 现有的组播协议

有线网络中两类最常用的组播协议是最短路径组播树和基于核心的组播树. 最短路径组播树协议属于基于源树算法类, 基于核心组播树协议属于基于共享树算法类. 有线网络的组播协议使用 IGMP 进行组管理.

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-08-12;收到修改稿时间:2013-09-26

有线网络的组播协议需要工作在静态主机与稳定链路的网络环境中,并不适用于移动网络,所以 MANET 网络需要专门的组播协议.适用于 MANET 网络的组播协议必须能够追踪主机的移动以便计算组播树,而组播树的计算可能导致巨大的开销.为了评估当前 MANET 网络组播协议的性能与容量,它们被分为四种类型:基于树、基于网格、基于混合与洪泛式协议.这些组播协议主要是基于距离向量、无状态或链路状态路由,增加了注册功能来协助路由操作.这些组播协议的功能包括:降低控制开销和、提高多跳路由能力、保持动态的拓扑结构和防止网络中出现环路.然而,这些协议在 MANET 中运行得不理想.主要因为在一个高度动态的网络环境中,网络拓扑结构经常发生变化,而且带宽和发射功率也是有限的<sup>[1]</sup>.

MANET 网络中的组播路由协议可以根据怎样构造转发路径分为三类:基于树的组播协议、基于网格的组播协议和混合式组播路由协议.基于树的组播协议有较高的数据转发效率,这种方法简单但是缺乏稳定性.基于树的算法在高度变化的网络环境中不是非常有效,对于每次节点移动都要重新构造树,这将导致可观的网络开销,并且之间树期间的信息会丢失.基于树的组播路由协议可以被进一步分为基于源与基于核心的.基于网格的组播协议构造一个中间节点的集合.这种方式在源节点与目标节点之间提供了冗余组播路径,所以能够适应高度变化的网络环境.这种协议通过广播发现路由,通过核心节点构造网络.相比基于树的组播协议,基于网格的组播协议牺牲了组播效率.混合式组播路由协议集成了基于树和基于网格方式的优点,这种协议的寻址方式是高效和稳定的.

组播会话生命周期中的一般分为三个阶段:初始化组播会话、传播组播信息拓扑和维护组播拓扑<sup>[2]</sup>.

在组播协议生命周期中的每个阶段,节点的加入、离开、再加入和维护会话都会影响该协议的性能.组播协议中所使用的路由方式可以主动的或者被动的.组播源或者接收者都可以发送“JOIN”请求来发起一个组播组.相应的接收者或者组播源发现这些请求后会发送一个“JOIN”回复.然后,组播源到接收者之间会建立一个路径,路径中记录了所有中间节点的地址,并将这些中间节点标记为转发节点.组播会话可以被显式的节点离开信息或者隐式的定期更新(例如不回复任何 JOIN 请求)所结束<sup>[3]</sup>.

## 2 简单组播转发协议(SMF)

洪泛是 MANET 网络中最简单的数据广播形式.为了抑制洪泛过程中的广播风暴,引入了一些机制来减少数据转发次数. SMF 引入分布式网状拓扑代替简单洪泛,减少了中继转发,实现更高效的组播效率.洪泛的优化方法包括连接控制集(CDS)与多点中继(MPR)等.

在目前的 MANET 网络中通常使用简单组播转发(SMF)的方式转发组播数据包. SMF 使用多点中继洪泛的算法作为它的选项.这个方案的主要优点是它的简单性和在节点移动方面的效率. SMF 由三个基本部分组成:序列 ID 生成与标记模块、重复检测模块和基本组播数据包转发模块.这三个模块组成了一个工作原型,兼容现有的 IP 网络协议框架.序列生成器使用单调递增的标识号来标记每个数据包的标识号,重复检测机制用来去掉转发处理接口和交付上层应用中的重复数据包,组播转发模块支持不同的洪泛优化<sup>[4]</sup>.目前的抑制广播风暴机制主要有四种:特定源多点中继(S-MPR)、非特定源多点中继(NS-MPR)、基础连接控制集(E-CDS)和多点中继连接控制集(MPR-CDS).

特定源多点中继(S-MPR)算法选择“单跳”的路径来建立一个能到达所有“两跳”节点的最少中继节点的集合. S-MPR 只从本地推举中继节点来重新发送从上游节点接收到的数据包.对称的“两跳”节点使用单向的 HELLO 数据报文交换邻居信息.采用 S-MPR 算法可以明显地减少重新传送数据包的冗余.非特定源多点中继(NS-MPR)算法将所有特定源推举出的多点中继放入一个中继节点集合.只有一个节点至少被一个邻居用作多点中继节点,它的信息才回被记录,因此转发过程中上一跳的信息不是必须的.基础连接控制集(E-CDS)算法为整个网络构造一个单独的连接控制集网格,并且允许节点使用“两跳”邻居拓扑信息来动态地执行中继自推举.节点使用邻居路由由优先级信息来推举自己为中继节点.当节点的路由优先级高于它所有的“两跳”邻居时,该节点会选择自己作为中继节点.多点中继连接控制集(MPR-CDS)算法中转发节点的数量被减少到一个比 NS-MPR 算法中更有效的子集. MPR-CDS 算法需要节点知道它们“两跳”邻居中的唯一顺序标识.当一个节点的标识高于它所有的“单跳”邻居时,该节点发现邻居后转发全部的唯一数据包.

### 3 扩展后的简单组播转发协议(SSMF)

没有任何一个组播路由协议是对所有移动网络都有效的. 因此, 需要根据网络环境(节点移动性、网络流量、节点密度)设计相应的组播协议. 简单组播转发协议(SMF)存在一个主要的缺点: 即使没有接收者, 组播源也会洪泛整个网络, 这样就会产生不必要的重复数据. 本节中基于提出了基于 SMF 的扩展协议(SSMF)解决上述问题<sup>[5]</sup>.

在这个协议中, 同一个组播组中的所有接收者必须注册所有可能的组播源. 注册数据包使用单播或者多点中继洪泛的方式达到组播源. 组播组中组播源存储一个所有接收者的列表, 每个接收者列表项记录着它到组播源的距离. 根据有限的洪泛范围和到达所有组播接收者的单播, 对组播源列表中的每个接收者计算一个混合值. 与 SMF 协议相比, SSMF 协议的目标是通过选择有限的洪泛与单播的最佳组合来最小化洪泛带来的网络开销.

本研究将网络环境抽象为两种最基本的环境: 集中环境和离散环境. 集中环境里有一个非常密集的组播接收者的网络. 离散环境里有很少并且分散的组播接收者的网络. 针对这两个网络方案可以提出两个不同的广播方案. 在集中环境中, 广播机制应采用有限的洪泛方式, 可以根据被广播数据包的 TTL 来选择洪泛范围. 在离散的环境中, 洪泛可以结合底层的单播协议, 以达到所有分散的主机.

在组播会话的生命周期中, 由接收者发起 SSMF 协议的注册. 当一个接收者加入组播组, 节点会广播 JOIN 请求, 组播源收到请求后会把这个节点加入到自己的接收者列表中. 注销有两种方法: 组播组中的接收者向源发送一个明确的注销信息, 组播源收到这个注销信息后只需要从它的接收者列表中删除这个节点. 接收者定期向组播源广播组成员, 组播源的接收者列表中存储着接收者和它们的距离, 使用定时器定期清除超时的无效接收者<sup>[6]</sup>.

本算法中将超时值定义为三次更新周期再加上额外的守护时间 0.05 秒. 也就是说, 如果源连续三次没有收到接收者的定期更新信息, 在等待 0.05 秒后源会从接收者列表中删除该接收者.

组播源在接收者列表中存储了节点的距离或者跳数. 如果使用主动单播路由协议, 组播源从单播路由表中直接获得跳数. 组播源也可以从接收者的周期性

更新信息中获得跳数, 选取同时收到的多个更新信息中的最小值.

在 SSMF 的广播机制中, 选择附加 TTL 的洪泛方式还是单播方式取决于已知的当前 TTL 值. 为了防止因为链路变化导致 TTL 值的的增长, 采用有限范围的洪泛方式配合一个额外的安全系数, 可以根据链路的变化率选择 TTL 值得更新率和相应的安全系数. 如果 TTL 是从一个主动单播路由协议中获得的, 更新 TTL 值完全依靠底层的单播协议. 加入到最优 TTL 值中的安全值代表注册和数据开销之间的折中<sup>[7]</sup>.

在 SSMF 中, 从接收者处获得的 JOIN 数据包的基本结构如表 1 所示(省略 IP 和 UDP 头部信息).

表 1 SSMF 中接收者的 JOIN 请求数据包格式

|       |          |       |
|-------|----------|-------|
| 0—7   | 8—15     | 16—31 |
| 消息类型  | 周期性更新超时值 | 消息序列号 |
| 组播组地址 |          |       |

数据包由一个或者多个 SSMF 信息作为信息头部. 信息头部包含以下字段:

- 消息类型: 接收者最初发送一个 JOIN 请求来加入一个组播组, 然后定期发送 JOIN 信息来使组播组中的发送者知道该接收者的跳数, 以便发送者维护组成员;
- 周期性更新超时: 针对特定条目的超时值允许不同的接收者拥有不同的超时周期;
- 组播组地址: 地址字段包含了接收者希望加入的主要组播地址;
- 消息序列号: 为了确定接收新的消息, 每个注册消息包含一个序列号.

假设 N 个节点均匀分布在矩形点阵中. 对于点阵中的节点 i, 有 4k 个节点到节点 i 的跳数为 k. 一次 TTL=k 洪泛需要转发 N<sub>k</sub> 次, N<sub>k</sub> 的计算公式如下:

$$N_k = 0.45(1 + 2k(k+1)) \quad (1)$$

因为 SSMF 中的洪泛机制是简单组播转发, 转发节点的总数会小于 N<sub>k</sub>. 这种情况中的最坏结果是单纯的洪泛, 每个节点都被认为是中继节点. 使用多点中继洪泛的方式, 参与转发的节点数量约为总结点数量的 45%.

同样需要计算转发节点的数量或者数据包开销, 来量化 SMF 洪泛与单播 SSMF 组播接收者之间的折中. 对单播来说, 转发跳数与发送者单播列表中 TTL 是相同的. 如图 1 所示, 一个 MANET 网络的例子, 一个组

播源和五个接收者组成了组播组。

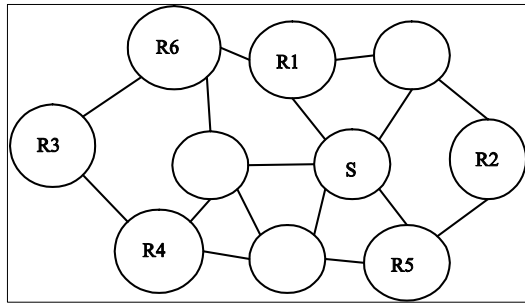


图 1 MANET 网络节点示意图

上述网络拓扑中组播源 S 的接收者列表如表 2 所示, 根据接收者列表中的信息计算出的 TTL 如表 3 所示。

表 2 网络拓扑中组播源 SSMF 协议的接收者列表

| 节点 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 跳数 | 1  | 2  | 3  | 2  | 1  | 2  |

表 3 最优 TTL 的综合计算

| TTL {k} | SMF 数据开销 | 单播数据开销 | 总开销   |
|---------|----------|--------|-------|
| 0       | 0.45     | 11     | 11.45 |
| 1       | 2.25     | 9      | 11.25 |
| 2       | 5.85     | 3      | 8.85  |
| 3       | 11.85    | 0      | 11.25 |

洪泛的 TTL=0, 即 k=0 表示了一种情况, 当洪泛没有任何限制时, 只能单播到所有组成员。当使用 SMF 在有限的范围内洪泛时, TTL=1, 节点 R1 与 R5 到组播源距离为 1 跳, 将进入 SMF 洪泛范围内。其他距离大于 1 跳的节点需要使用单播的方式。节点 R2、R4 与 R6 是 2 跳的距离, 节点 R3 是 3 跳的距离, 产生的单播数据包总数等于是他们跳数的和, 即 2+2+2+3=9。每个 TTL 都可以按照这种方法计算。在这个例子中, 最优 TTL 为 2, 也就是单播与 SMF 洪泛组合使用产生的最小数据开销值。

## 4 模拟分析

### 4.1 实验环境

通过使用网络仿真软件 NS-2 进行模拟实验。版本号为 2.27 的 NS-2 软件包中已经集成了 OLSR(最优链路状态路由协议), 所有的模拟器都运行在 Linux(kernel version:2.6.18-238.1.1.el5)系统上。

在物理层上, 选择传输距离与载波监测距离值分别为 250 米和 550 米。使用 Rayleigh 传播模型。在 802.11g 协议的媒体访问控制层上, 广播和单播的速率

分别为 6Mbps 和 54Mbps。在网络层上, 单播路由协议使用 OLSR 协议, 组播转发协议使用 SMF 协议。数据包使用 UDP 协议进行封装, 数据包的大小设置为 1500 字节。UDP 数据周期性地 0.001 秒的速率抖动。网络中的传输负载决定了 UDP 传输的周期, 并且速率的抖动也是相应变化的。模拟时间设置为 5400 秒。移动模型设置为 RWP(随机路点)模型, 在这种模型中, 节点随机使用 5-15 米/秒进行移动。模拟区域为边长为 1350 米的正方区域。

### 4.2 评价指标

数据包交付率, 即发送至不重复目的地的数据包数量与应该被接收到的数据包数量的比值。这个比率表明了协议传输数据到网络中预定的接收者(组播组成员)的效率和吞吐量。

控制开销, 即传输控制字节的总数量。控制数据包不携带用户的有效数据。控制开销表明了传输数据过程中控制数据包的效果。被计算为控制开销的数据包有: OLSR 的 Hello 报文与组播接收者到组播源的定期更新消息<sup>[8]</sup>。

端到端的平均延迟, 即数据包从组播源应用层到组播组成员应用层的平均延迟。这个延迟包括所有排队和协议处理的延迟以及传输延迟。丢失的数据包不计算在平均延迟中。

### 4.3 模拟参数

模拟中使用的参数见表 4, 括号中的值为缺省值, 通过改变每次模拟的参数值对协议的性能进行评估。

表 4 模拟器 NS-2 中的参数值

| 参数       | 单位 | 参数值                                 |
|----------|----|-------------------------------------|
| 停止时间     | 秒  | 5400,4200,3600,3000,[2400],1200,600 |
| 节点       | 个  | 10,20,[50],100                      |
| 组播组节点    | 个  | 1,2,5,[10],50,100                   |
| 组播源      | 个  | [1],2,3,4,5                         |
| 节点变化率    | 秒  | [0],0.01,0.02,0.01,1,2,5,10,20      |
| Hello 报文 | 秒  | [50],60,100,150,250                 |
| 更新报文     | 秒  | 150,[250],350,550,650               |

模拟实验中将用以下四种协议作比较:

- SSMF-SMPR: 使用 OLSR 作为单播协议, 使用 SMF(S-MPR)作为洪泛时抑制广播风暴的机制。
- SSMF-SIMPLE: 使用 OLSR 作为单播协议, 使用简单洪泛的方式。
- SMF: 仅使用 SMF(S-MPR)作为洪泛时抑制广播风暴的机制。

● MAODV: 使用 MAODV(按需距离矢量路由协议)作为组播路由协议.

4.4 实验结果

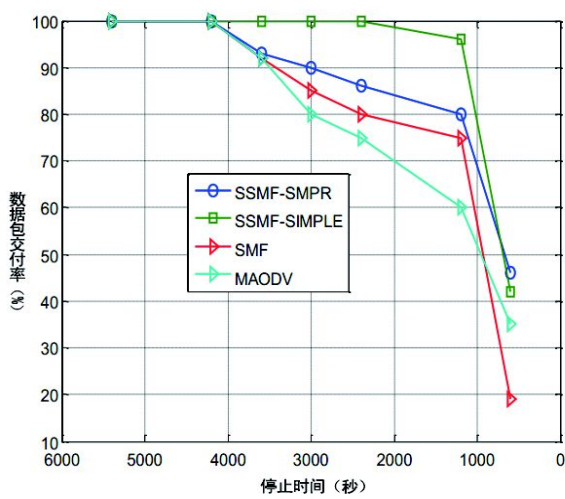


图 2 四种网络协议的数据包交付率

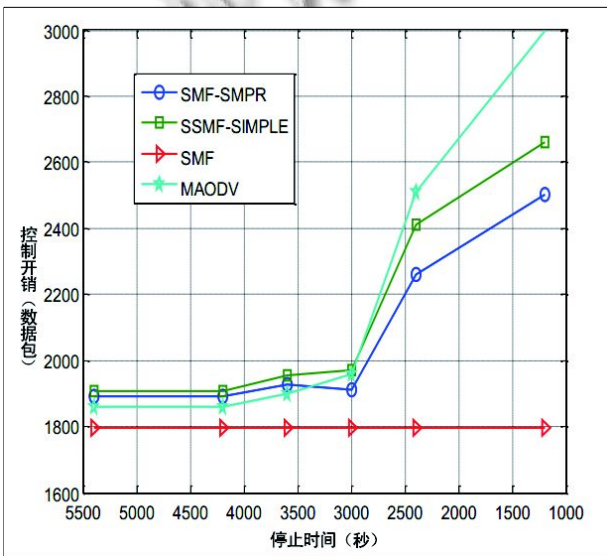


图 3 四种网络协议的控制开销

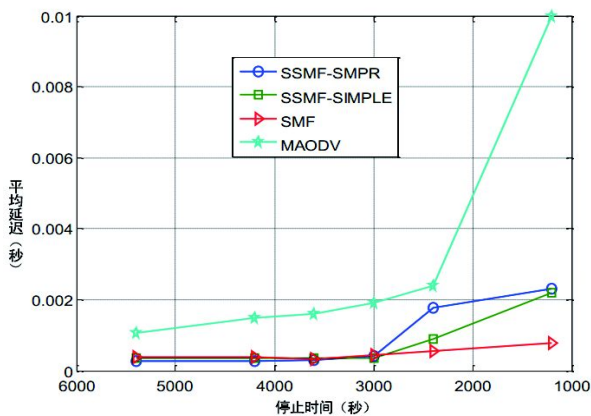


图 4 四种网络协议的端到端平均延迟

4.5 结果分析

在 RWP 移动模型中, 不同的停止时间产生不同的模拟结果.

图 2 比较了在不同的移动环境中使用四种协议的数据包交付率. 图 2 显示了无论使用 S-MPR 洪泛或者简单洪泛, SSMF 协议的表现优于 MAODV 协议与 SMF 协议. 网络移动性的增强导致了频繁的链路变化, MAODV 协议需要不断重新配置组播树, 最终导致数据包交付率下降. 使用简单洪泛方式的 SSMF 协议在对应网络移动性方面表现优于使用 S-MPR 洪泛方式的 SSMF 协议. 在使用 S-MPR 洪泛方式的 SSMF 协议中, 网络移动性影响了中继节点的选择, 导致出现丢弃数据包的可能.

图 3 显示了由于网络移动性的增强, 链路状态变化频繁, MPR 算法中的节点列表相应发生变化. 这些都影响到了 HELLO 消息与拓扑控制消息的定期广播, 所以 SSMF 协议的控制开销就会增加. 由于 MAODV 协议的缓存中保存较少的路由信息数据包, 所以它的网络负载比较低. 因为 MAODV 协议是被动的协议, 所以相对 SSMF(SMPR)协议, 在较高的移动性或者较低的停止时间条件下, MAODV 协议的开销更大.

图 4 显示了在网络移动性不断增加的时候, 端到端的延迟性能. 较高的移动性意味着更多的链路被破坏, 从而导致了频繁的重新路由与较高的端到端延迟. 由于 MAODV 协议每当检测到拓扑的改变都需要重新初始化路由由洪泛进程, 以便发现新的路由, 所以 MAODV 协议的延迟最大. 使用 MPR 洪泛方式的 SMF 协议不需要消除延迟, 因此介质访问延迟最好. 同时使用 OLSR 作为单播协议的 SSMF 协议延迟居中.

5 结语

无论在有线网络中还是在 MANET 网络中, 大多数组播协议要在运行开销与可靠性之间取得一个折中值. 为了提高可靠性, 组播协议需要维护网络中每一台主机的状态, 并不适用于类似 MANET 这种高频率链路状态高频率变化的网络.

本文中所述的 SSMF 协议几乎不需要状态维护. 在 MANET 网络中, SSMF 使用有限的洪泛方式结合单播协议可以消除不必要的数据传播, 以及其对于任何特定单播协议的依赖性. 这种方式不仅允许洪泛到达网络中的节点密集处, 也允许组播源到达节点非常稀

(下转第 211 页)



图 5 采用视频流同步机制的显示结果

## 6 结语

随着数字视频技术和网络通信技术的不断突破、高处理能力的芯片和视频服务器的不断推出,网络高清视频流正迅速进入交通管理、电力调度、公安指挥等领域的大屏显示系统,成为指挥决策显示系统的重要信息来源。

本文提出的视频流集群同步显示技术充分利用了视频的 PTS 信息来实现节点机的同步显示,通过设计视频流同步显示机制,研究组播接收模块、TS 流拆包模块、视频解码模块和同步控制模块和拼接屏显示模块等功能模块的实现,实现了集群显示系统各子节点机的视频流同步显示,试验结果证明基于 PTS 的视频流集群同步显示技术是有效的,为集群大屏拼接显示系统的视频流同步显示提供了可行的解决方案。

### 参考文献

- 1 孙晓娟.基于网络的大屏幕显示系统的设计与实现[学位论文].沈阳:东北大学,2010.

(上接第 236 页)

少处分散的主机.通过单播既确保了数据包传递的可靠性又可以节省大量的带宽。

### 参考文献

- 1 丁文.基于免疫多目标优化的网络组播路由选择.计算机应用研究,2012,29(4):1477-1479.
- 2 黄传河,杨文忠,王博,张振宇,徐利亚.无线 Mesh 网中编码感知组播路由协议 CAMR.计算机研究与发展,2011,48(6):1000-1009.
- 3 方艺霖,李方敏,吴鹏,刘新华,马小林.无线 Mesh 网络组播路由协议.软件学报,2010,21(6):1308-1325.

- 2 郑岚,陈奇.基于 LDAP 的统一访问控制系统的设计与实现.计算机工程与设计,2005,26(7):1865-1867.
- 3 王海涛,刘淑芬.基于 Linux 集群的并行计算.计算机工程与设计,2010,36(1).
- 4 Sacerdoti FD, Chandra S, Bhatia K. Grid systems deployment & management using rocks. IEEE International Conference on Cluster Computing. San Diego. Sep. 2004.
- 5 Sacerdoti FD, Katz MJ, Papadopoulos PM. 411 on scalable password service. IEEE High Performance Distributed Computing Conference. North Carolina. Jul. 2005.
- 6 Sacerdoti FD, Katz MJ, Massie ML, Culler DE. Wide area cluster monitoring with ganglia. IEEE International Conference on Cluster Computing. Hong Kong. Dec. 2003.
- 7 Papadopoulos PM, Papadopoulos CA, Katz MJ, Link WJ, Bruno G. Configuring large high-performance clusters at lightspeed: A case study. International Journal of High Performance Computing Applications, 2004, 18(3): 317-326.
- 8 Katz MJ, Papadopoulos PM, Bruno G. Leveraging standard core technologies to programmatically build Linux cluster appliances. CLUSTER 2002, IEEE International Conference on Cluster Computing. Apr. 2002.
- 9 刘君.基于网络的大屏幕显示系统的设计与实现.辽宁大学学报(自然科学版),2010,37(2):128-132.
- 10 常辉,戴树岭,王行仁.可扩展的多投影视频显示技术研究.系统仿真学,2009,21(Sup1):197-200.

- 4 江国星,梅锐.基于泛洪约束的 MANET 按需组播路由协议.电子与信息学报,2010,32(2):278-283.
- 5 葛连升,江林,秦丰林.QoS 组播路由算法研究综述.山东大学学报(理学版),2010,45(1):55-56.
- 6 王新生,史钊.基于蚁群算法的 Ad Hoc 网组播路由算法.小型微型计算机系统,2008,29(4):602-606.
- 7 崔伟峰,张岩,金顺福.几种 Ad Hoc 网络组播路由协议的分析与比较.计算机工程与设计,2006,18:3340-3343.
- 8 周元,毛启容,詹永照.Ad hoc 无线网络中的组播路由协议.计算机工程与应用,2004,5:155-159.